

(54) [Title of the Invention] Electromagnetic Field  
Intensity Calculating Apparatus

(57) [Abstract]

[Object] The present invention relates to an  
5 electromagnetic field intensity calculating apparatus  
calculating an electromagnetic field intensity,  
radiated by an electric circuit device based on a moment  
method, and aims at enabling an electromagnetic field  
intensity to be calculated at high speed and with high  
10 accuracy.

[Constitution] The electromagnetic field intensity  
calculating apparatus comprises: an evaluating means  
112 for evaluating the electric length of an element  
from which a mutual impedance is to be calculated, and  
15 the electric length of the distance between elements,  
when the mutual impedance configuring simultaneous  
equations of a moment method is calculated; and a  
determining means 113 for determining a mutual impedance  
calculation method according to an evaluation result  
20 of the evaluating means 112, wherein the simultaneous  
equations of a moment method are derived by calculating  
the mutual impedance in accordance with the calculation  
method determined by the determining means 113.

[What is claimed is]

25 [claim 1] An electromagnetic field intensity

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

calculating apparatus calculating an electromagnetic field intensity radiated by an electric circuit device based on a moment method handling a metal target, comprising:

5           evaluating means (112) for evaluating an electric length of an element from which a mutual impedance is to be calculated, and an electric length of a distance between elements, when the mutual impedance configuring simultaneous equations of a moment method is calculated;

10    and

          determining means (113) for determining a mutual impedance calculation method according to an evaluation result of said evaluating means (112), wherein

          simultaneous equations of a moment method are  
15    derived by calculating the mutual impedance in accordance with the calculation method determined by said determining means (113).

[claim 2]   An electromagnetic field intensity  
20   calculating apparatus calculating an electromagnetic field intensity radiated by an electric circuit device based on a moment method handling a metal target and a dielectric target, comprising:

          evaluating means for evaluating an electric  
25   length of an element from which a mutual coefficient

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

is to be calculated, and an electric length of a distance between elements, when some or all of mutual coefficients of a mutual impedance configuring simultaneous equations of a moment method, a mutual  
5 admittance, and a mutual reaction are calculated; and

determining means (113) for determining a calculation method of a mutual coefficient to be evaluated according to an evaluation result of said evaluating means (112), wherein

10 simultaneous equations of a moment method are derived by calculating mutual coefficients in accordance with the calculation method determined by said determining means (113).

15 [claim 3] The electromagnetic field intensity calculating apparatus according to claim 1 or 2, wherein

said evaluating means (112) performs a process so as to identify an electric length of an element used for an evaluation process by performing a stipulated  
20 operation for electric lengths of two elements to be evaluated.

[claim 4] The electromagnetic field intensity calculating apparatus according to claim 1, 2, or 3,

25 wherein

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

said determining means determines to use a calculation method with high accuracy when an electric length of an element is shorter than a stipulated value, and an electric length of a distance between elements  
5 is evaluated to be longer in comparison with the electric length, and determines to use a high-speed calculation method otherwise.

[claim 5] The electromagnetic field intensity  
10 calculating apparatus according to claim 4, wherein  
said determining means (113) performs a process so as to determine to use a multi-precise real number calculation method as the calculation method with high accuracy.

15

[claim 6] The electromagnetic field intensity  
calculating apparatus according to claim 4, wherein  
said determining means (113) performs a process  
so as to determine to use a multiple-length integer  
20 calculation method as the calculation method with high accuracy.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**





## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07302277 A**(43) Date of publication of application: **14.11.95**

(51) Int. Cl.

**G06F 17/50**  
**G01R 29/08**  
**G06F 17/00**

(21) Application number: **06095362**(22) Date of filing: **10.05.94**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**

(72) Inventor: **NAGASE KENJI**  
**MUKAI MAKOTO**  
**OTSU SHINICHI**  
**NISHINO KANJI**

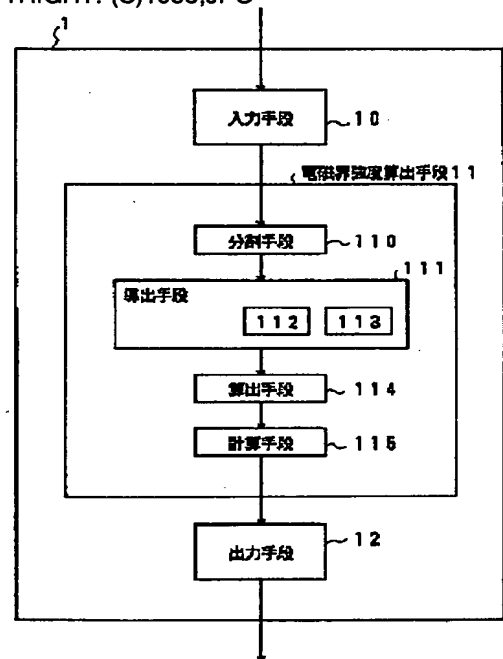
(54) **DEVICE FOR CALCULATING  
 ELECTROMAGNETIC FIELD INTENSITY**

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To highly accurately calculate electromagnetic field intensity at a high speed relating to an electromagnetic field intensity calculation device for calculating the electromagnetic field intensity radiated by an electric circuit device based on a moment method.

**CONSTITUTION:** By providing an evaluation means 112 for evaluating the electrical length of an element to be the calculation object of mutual impedance and the electrical length of a distance between the elements at the time of calculating the mutual impedance for constituting the simultaneous equations of the moment method and a decision means 113 for deciding the calculation method of the mutual impedance corresponding to the evaluated result, of the evaluation means 112 and calculating the mutual impedance corresponding to the calculation method decided by the decision means 113, the simultaneous equations of the moment method are lead out.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-302277

(43) 公開日 平成7年(1995)11月14日

|                           |      |         |                |                      |
|---------------------------|------|---------|----------------|----------------------|
| (51) Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号 | 庁内整理番号  | F I            | 技術表示箇所               |
| G 0 6 F 17/50             |      |         |                |                      |
| G 0 1 R 29/08             | D    |         |                |                      |
| G 0 6 F 17/00             |      |         |                |                      |
|                           |      | 7623-5L | G 0 6 F 15/ 60 | 4 5 0                |
|                           |      | 8724-5L | 15/ 20         | Z                    |
|                           |      |         | 審査請求 未請求       | 請求項の数 6 O L (全 11 頁) |

(21) 出願番号 特願平8-95362

(22) 出願日 平成6年(1994)5月10日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 長瀬 健二

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 向井 誠

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 大津 信一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 岡田 光由 (外1名)

最終頁に続く

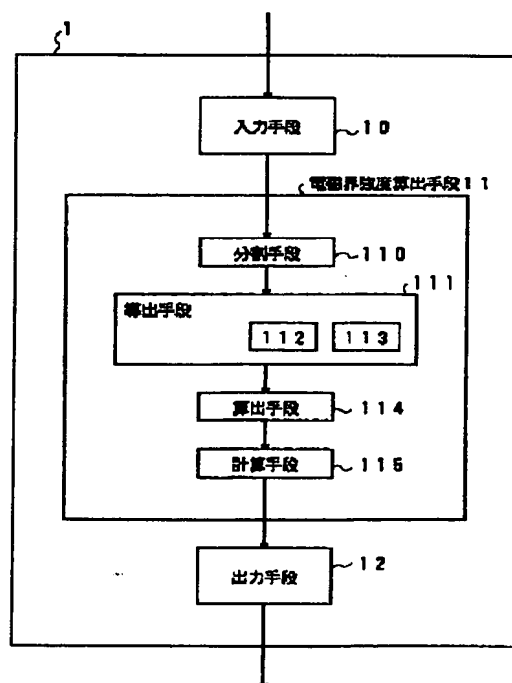
## (54) 【発明の名称】 電磁界強度算出装置

## (57) 【要約】

【目的】本発明は、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、高速かつ高精度に電磁界強度を算出できるようにすることを目的とする。

【構成】モーメント法の連立方程式を構成する相互インピーダンスの算出にあたって、相互インピーダンスの算出対象となる要素の電気長と、要素間距離の電気長とを評価する評価手段112と、評価手段112の評価結果に応じて、相互インピーダンスの算出手法を決定する決定手段113とを備え、決定手段113の決定する算出手法に従って相互インピーダンスを算出することで、モーメント法の連立方程式を導出していくように構成する。

本発明の原理構成図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属対象物を扱うモーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、

モーメント法の連立方程式を構成する相互インピーダンスの算出にあたって、該相互インピーダンスの算出対象となる要素の電気長と、要素間距離の電気長とを評価する評価手段(112)と、

上記評価手段(112)の評価結果に応じて、相互インピーダンスの算出手法を決定する決定手段(113)とを備え、上記決定手段(113)の決定する算出手法に従って相互インピーダンスを算出することで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項2】 金属対象物及び誘電体対象物を扱うモーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、

モーメント法の連立方程式を構成する相互インピーダンス、相互アドミッタンス及び相互リアクションの一部又は全ての相互係数の算出にあたって、該相互係数の算出対象となる要素の電気長と、要素間距離の電気長とを評価する評価手段(112)と、

上記評価手段(112)の評価結果に応じて、評価対象となる相互係数の算出手法を決定する決定手段(113)とを備え、

上記決定手段(113)の決定する算出手法に従って相互係数を算出することで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項3】 請求項1又は2記載の電磁界強度算出装置において、

評価手段(112)は、評価対象となる2つの要素の電気長に規定の演算を施すことで、評価処理に用いる要素の電気長を特定していくよう処理することを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項4】 請求項1、2又は3記載の電磁界強度算出装置において、

決定手段(113)は、要素の電気長が規定値よりも短くなるときにあって、該電気長と比較して要素間距離の電気長が長いことが評価されるときには、高精度の算出手法を用いることを決定し、そうでないことが評価されるときには、高速の算出手法を用いることを決定していくよう処理することを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項5】 請求項4記載の電磁界強度算出装置において、

決定手段(113)は、高精度の算出手法として、多倍精度実数の算出手法を用いることを決定していくよう処理することを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項6】 請求項4記載の電磁界強度算出装置において、

決定手段(113)は、高精度の算出手法として、多倍長整数の算出手法を用いることを決定していくよう処理することを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、特に、高速かつ高精度に電磁界強度を算出できるようにする電磁界強度算出装置に関する。

【0002】電気回路装置から不要放射される電波は、テレビやラジオ等の他の電波と干渉することから、最近、各国で厳しく規制されるようになってきた。このような規制の規格として、日本ではVCCI規格があり、米国ではFCC規格があり、ドイツではVDE規格がある。

【0003】このような電波規制を満足させるためには、シールド技術やフィルタ技術等のような種々の対策技術を使う必要があり、これらの対策技術がどの程度電波を減少させるかを定量的にシミュレートしていく必要がある。これから、高い精度でもって電気回路装置の放射する電磁界強度をシミュレートできるようにする電磁界強度算出装置の構築が叫ばれている。

【0004】

【従来の技術】任意形状の物体から放射される電磁界強度は、物体各部に流れる電流が分かれば、公知の理論式を用いて容易に計算することができる。この電流値は、理論的には、マクスウェルの電磁波動方程式を与えられた境界条件の下で解くことで得られるものであるが、任意形状物体を対象とした複雑な境界条件の下での直接的な数式解は現在知られていない。

【0005】従って、現在の電磁界強度算出装置で用いられている電流を求める解法は、難易の程度はあるにせよ、すべて近似的なものである。現在、この近似的な解法として、微小ループアンテナ近似法と、分布定数線路近似法と、モーメント法という3種類のものが知られている。

【0006】微小ループアンテナ近似法は、波源回路と負荷回路との間を接続する配線をループアンテナとして扱い、ループ上の電流は平坦なものと仮定して、これを集中定数回路の計算手法で求める方法である。図11に、この微小ループアンテナ近似法の構成を図示する。

【0007】この微小ループアンテナ近似法による計算は、最も簡単であるが、ループの寸法が電磁波の波長に比べて無視できない条件では精度が極めて低下することから、現実には殆ど用いられていない。

【0008】一方、分布定数線路近似法は、1次元の構

造物として近似できる物体に対して、分布定数線路の方程式を適用することで電流を求める方法である。計算は比較的簡単であり、計算時間及び記憶容量も解析要素数にほぼ比例して増加するに止まり、線路の反射や共振等の現象も含めた解析ができることから、1次元の近似が成立する物体については、高速・高精度の解析ができる。図12に、この分布定数線路近似法の構成を図示する。

【0009】この分布定数線路近似法による計算は、1次元の構造物として近似できる物体については、高速・高精度の解析ができるものの、近似できない物体については解析できないという問題点がある。

【0010】一方、モーメント法は、マックスウェルの電磁波動方程式から導かれる積分方程式の解法の1つであり、3次元の任意形状物体を扱うことができる。具体的には、物体を小さな要素に分割して電流の計算を行うものである。

【0011】このように、モーメント法が3次元の任意形状物体を扱えることから、電磁界強度算出装置では、モーメント法を使って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するという構成が有力である。

【0012】このモーメント法では、金属対象物を扱うときには、金属部分を解析対象としてメッシュ化し、分割した金属間の相互インピーダンス $Z_{ij}$ を求め、この相互インピーダンス $Z_{ij}$ と、波源 $V_i$ と、分割した金属に流れる電流 $I_i$ との間に成立するモーメント法の連立方程式、

$$[Z_{ij}] [I_i] = [V_i]$$

を解いて電流 $I_i$ を求めていくことで、放射される電磁界強度を算出するという方法を探っている。ここで、「 $[ ]$ 」はマトリクスを表している。

【0013】このようなモーメント法を用いるときにあって、従来の電磁界強度算出装置では、高速演算を実現するために、この相互インピーダンス $Z_{ij}$ を倍精度実数の算出手法を使って算出していくという構成を探っている。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、倍精度実数の算出手法では、積演算のときに下位の有効数字が失われることから、倍精度実数の算出手法を使って相互インピーダンス $Z_{ij}$ を算出していくと、金属メッシュの電気長（放射される電磁波の波長を尺度する長さ）が短くなるときに桁落ちが発生することで、相互インピーダンス $Z_{ij}$ を正確に算出できないという問題点があった。

【0015】これから、従来の電磁界強度算出装置では、高い精度でもって電磁界強度を算出することができないという問題点があった。本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する構成を探るときにあって、高速かつ高精度に電磁界強度を算出できるようにする新たな電磁界

強度算出装置の提供を目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】図1に本発明の原理構成を図示する。図中、1は本発明により構成される電磁界強度算出装置であって、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する。

【0017】この電磁界強度算出装置1は、解析対象となる電気回路装置の構造体を入力する入力手段10と、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出手段11と、電磁界強度算出手段11の算出結果を出力する出力手段12とを備える。

【0018】電磁界強度算出手段11は、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するために、分割手段110と、導出手段111と、評価手段112と、決定手段113と、算出手段114と、計算手段115とを備える。

【0019】この分割手段110は、入力された電気回路装置の構造体を要素（メッシュ）に分割する。導出手段111は、金属のみを解析対象とする場合には、要素間の相互インピーダンスのみを相互係数として算出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、要素間の相互インピーダンス、相互アドミッタンス、相互リアクションを相互係数として算出して、これらの相互係数を使ってモーメント法の連立方程式を導出する。

【0020】評価手段112は、導出手段111に展開されて、相互係数の算出対象となる要素の電気長と、要素間距離の電気長とを評価する。決定手段113は、導出手段111に展開されて、評価手段112の評価結果に応じて、相互係数の算出手法を決定する。

【0021】算出手段114は、導出されたモーメント法の連立方程式を解くことで、金属のみを解析対象とする場合には、金属に流れる電流を算出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、金属に流れる電流と、誘電体の表面に流れる等価電流及び等価磁流とを算出する。計算手段115は、算出手段114の算出する算出値から、電気回路装置の放射する電磁界強度を計算する。

【0022】

【作用】本発明では、入力手段10により解析対象となる電気回路装置の構造体が入力されると、先ず最初に、電磁界強度算出手段11の分割手段110は、その電気回路装置を要素に分割する。

【0023】続いて、評価手段112は、モーメント法の連立方程式を構成する相互係数の算出対象となる要素の電気長と、要素間距離の電気長とを評価し、この評価結果を受けて、決定手段113は、要素の電気長が規定値よりも短くなるときにあって、その電気長と比較して要素間距離の電気長が長いことが評価されるときには、

高精度の算出手法（例えば、多倍精度実数や多倍長整数の算出手法）を用いることを決定し、そうでないことが評価されるときには、高速の算出手法（例えば、倍精度実数の算出手法）を用いることを決定する。

【0024】この決定手段113の決定結果を受けて、導出手段111は、決定された算出手法を使って、金属のみを解析対象とする場合には、要素間の相互係数として、要素間の相互インピーダンスを算出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、要素間の相互係数として、要素間の相互インピーダンス、相互アドミタンス、相互リアクションを算出する。

【0025】続いて、導出手段111は、算出した相互係数を用いて、金属のみを解析対象とする場合には、金属に流れる電流を未知数とするモーメント法の連立方程式を導出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、金属に流れる電流と、誘電体の表面に流れる等価電流、等価磁流とを未知数とするモーメント法の連立方程式を導出する。

【0026】導出手段111によりモーメント法の連立方程式が導出されると、算出手段114は、この連立方程式を解くことで、金属のみを解析対象とする場合には、金属に流れる電流を算出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、金属に流れる電流と、誘電体の表面に流れる等価電流、等価磁流とを算出する。そして、この算出結果を受けて、計算手段115は、この算出された算出値から、電気回路装置の放射する電磁界強度を計算し、この計算結果を受けて、出力手段12は、計算された電磁界強度を例えば図式化して出力する。

【0027】このように、本発明では、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するときであって、モーメント法の連立方程式を構成する相互係数の算出にあたって、通常は高速の算出手法を用いつつ、桁落ちが発生する可能性があるときには桁落ちしない高精度の算出手法を用いることで、相互係数の正確な値を算出していく構成を採るものであることから、電気回路装置の放射する電磁界強度を高速かつ高精度に算出できるようになる。

【0028】

【実施例】以下、金属のみを解析対象とするモーメント法に適用した実施例に従って本発明を詳細に説明する。

【0029】図2及び図3に、本発明の電磁界強度算出装置1が実行する処理フローの一実施例を図示する。ここで、図中、20は入力データファイルであって、解析対象となるメッシュ化された電気回路装置の構造体情報を管理するもの、21は判断テーブルであって、相互インピーダンスの算出手法の選択に用いる判断データを管理するもの、22は出力データファイルであって、算出された電磁界強度を格納するものである。

【0030】図4に、判断テーブル21の管理する判断データの一実施例を図示する。この図に示すように、判

断テーブル21は、相互インピーダンスの算出対象となる2つの金属要素の電気長の代表値と、2つの金属要素の距離の電気長とを検索キーにして、2つの金属要素の電気長の代表値が規定値よりも短くなる時にあって、その電気長と比較して2つの金属要素の距離の電気長が長い領域を領域B、それ以外の領域を領域Aとして管理する構成を採るものである。ここで、2つの金属要素の電気長の代表値としては、2つの電気長の小さい方や、2つの電気長の平均値や、2つの電気長の掛け算値の平方根等が用いられる。また、電気長とは、上述したように、電磁波の波長 $\lambda$ を尺度する長さである。

【0031】次に、図2及び図3に示す処理フローに従って、本発明の電磁界強度算出装置1の実行する電磁界強度算出処理について詳細に説明する。本発明の電磁界強度算出装置1は、起動されると、図2及び図3の処理フローに示すように、先ず最初に、ステップ1で、入力データファイル20からメッシュ化された電気回路装置の構造体情報を読み込んで、金属要素や他のデータ（周波数等）を構造体、配列として設定する。

【0032】次に、ステップ2で、処理済の周波数をカウントすることで、登録されている全周波数についての処理が終了したのか否かを判断して、終了したことを判断するときには全ての処理を終了し、終了していないことを判断するときには、以下の処理を行う周波数を未処理の中から1つ選択して、続くステップ3で、この選択した周波数の波長 $\lambda$ を計算する。

【0033】続いて、ステップ4で、相互インピーダンス $Z_{ij}$ を算出するために、 $m$ 個ある金属要素の中から未処理のものを1つ選択する。このステップ4で、未処理の金属要素を選択できたことを判断すると、続いて、ステップ5で、相互インピーダンス $Z_{ij}$ の算出対象となるもう一方の金属要素を $m$ 個の中から1つ選択する。

【0034】このステップ5で、全ての金属要素を選択したことを判断するときには、ステップ4に戻っていく。一方、このステップ5で、未処理の金属要素を選択できたことを判断するときには、ステップ6に進んで、相互インピーダンス $Z_{ij}$ の算出対象として選択した2つの金属要素の距離の電気長を特定するとともに、2つの金属要素の電気長の代表値を算出して、この2つの電気長、代表値を検索キーにして判断テーブル21を検索することで、相互インピーダンス $Z_{ij}$ の算出対象として選択した2つの金属要素が、領域Aか領域Bのいずれに属するのかを判断する。

【0035】このステップ6で、領域Aに属することを判断するときには、ステップ7に進んで、演算速度を優先して、高速演算処理を実現する倍精度実数の算出手法に従って、選択した2つの金属要素の相互インピーダンス $Z_{ij}$ を算出してステップ5に戻っていく。一方、このステップ6で、領域Bに属することを判断するときには、ステップ8に進んで、演算精度を優先して、高精度

演算処理を実現する多倍精度実数や、固定小数点数（多倍長整数）の算出手法に従って、選択した2つの金属要素の相互インピーダンス $Z_{ij}$ を算出してステップ5に戻っていく。

【0036】一方、ステップ4で、全ての金属要素を選択したことを判断するとき、すなわち、全ての相互インピーダンス $Z_{ij}$ の算出完了を判断するときには、ステップ9に進んで、算出した相互インピーダンス $Z_{ij}$ と、入力データファイル20から読み込んだ波源 $V_i$ とを使って、金属要素に流れる電流 $I_i$ を未知数とするモーメント法の連立方程式

$$[Z_{ij}] [I_i] = [V_i]$$

を導出し、これを解くことで、金属要素に流れる電流 $I_i$ を求める。

【0037】そして、続くステップ10で、処理済の観測点をカウントすることで、登録されている全観測点についての処理が終了したのか否かを判断して、終了したことを判断するときにはステップ2に戻り、終了していないことを判断するときには、ステップ11に進んで、算出した電流 $I_i$ が観測点にもたらす電磁界強度を規定の算出式に従って算出して、その算出結果を出力データファイル22に格納してからステップ10に戻っていく。

【0038】このようにして、本発明では、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するときにあつて、相互インピーダンス $Z_{ij}$ の算出にあつて、倍精度実数の算出手法では桁落ちが発生する可能性があるときには、大きな作業域が必要とされ、プログラムも複雑になり、計算時間も大幅に増大するものの、桁落ちせずに高精度演算を実現する多倍精度実数や多倍長整数の算出手法を用いていく構成を採ることから、電気回路装置の放射する電磁界強度を正確に算出できるようになる。

【0039】次に、図2及び図3の処理フローで用いた判断テーブル21の管理する判断データについて具体的に説明する。本発明の電磁界強度算出装置1は、金属のワイヤ部分について線分割することで、図5に示すようにワイヤのダイポールを生成する。

【0040】電磁界強度算出装置1は、空気中であるのか誘電体内であるのかを表す識別子を $q$ （以下、空気中であるときには $q=0$ 、誘電体内であるときには $q=d$ とする）、 $2\pi$ を波長 $\lambda$ で割った値を $k$ で表すならば、

$$Z^q_{uv, mn} = - \int \int_{S_{uv}} \mathbf{J}_v \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{E}^q(\mathbf{J}_u, m) d\mathbf{a}$$

【0047】で表される。ここで、図7に示すような波源と観測点との関係を想定するとともに、波源の電流分布として図中に示す $\mathbf{J}^+$ を想定すると、電流 $\mathbf{J}^+$ による電界の $z$ 方向成分 $E_z^+$ と、 $\rho$ 方向成分 $E_\rho^+$ は、図8に示す算出式に従って算出されることになる。

【0048】これから、2つのモノポール間の座標系と

このようにして生成した金属のワイヤのダイポールについては、

【0041】

【数1】

$$J^w_{12} = \frac{\vec{Z}}{2\pi a} \frac{\sin k^a(Z - Z_1)}{\sin k^a(Z_2 - Z_1)}$$

$$Z_1 \leq Z \leq Z_2$$

$$J^w_{23} = \frac{\vec{Z}}{2\pi a} \frac{\sin k^a(Z_3 - Z)}{\sin k^a(Z_3 - Z_2)}$$

$$Z_2 \leq Z \leq Z_3$$

【0042】という展開関数 $J$ （式中に示す矢印の付加された $Z$ は、 $z$ 方向の単位ベクトルであり、 $a$ はワイヤの半径である）を想定して、金属のワイヤ部分に流れる電流を $J_w$ で表すならば、この展開関数を使って、電流 $J_w$ を

【0043】

【数2】

$$J_s = \sum_{n=1}^{Nc} I_n J_n$$

【0044】のように $N_c$ 個の展開関数のセットに展開する。ここで、この係数 $I_n$ が電流の大きさを表し、最終的にはモーメント法の連立方程式の未知数となる。このようなことを前提にして、図6に示すような2つの金属ワイヤダイポール間の相互インピーダンスの算出処理について考えることにする。ここで、この金属ワイヤダイポール間の相互インピーダンス $Z_{mn}$ は、図中にも示すように、モノポール間の相互インピーダンス $Z_{00}$ 、 $Z_{01}$ 、 $Z_{10}$ 、 $Z_{11}$ の和で表されるものである。

【0045】金属メッシュ $u$ の $m$ 番目の展開関数の電流が金属メッシュ $v$ に与える電界を $E^q(J_u, m)$ で表すならば、金属メッシュ $u$ の $m$ 番目の展開関数の電流と、金属メッシュ $v$ の $n$ 番目の展開関数の電流との間の相互インピーダンスは、

【0046】

【数3】

して、図9に示す座標系を想定するとともに、図中に示すワイヤ1の電流 $J_1^+$ 、ワイヤ2の電流 $J_2^+$ を想定すると、ワイヤ1の電流 $J_1^+$ によりワイヤ2の点に生ずる電界 $E_z^+$ 、 $E_\rho^+$ の内、ワイヤ2の接線方向の成分は $E_z^+$ のみであり、また、ワイヤ2の電流 $J_2^+$ によりワイヤ2の点に生ずる電界 $E_z^+$ 、 $E_\rho^+$ の内、ワ

イヤ1の接線方向の成分は $E_z$ のみであるという点を考慮すると、図6に示すモノポール間の相互インピーダンス $Z_{00}$ は、

\*【0049】

【数4】

$$Z_{00} = - \frac{\omega \mu}{8\pi k \sin kd_1 \sin kd_2} \left[ \exp \{-jk(z_1 - t_1)\} \cdot X + \exp \{jk(z_1 - t_1)\} \cdot Y \right]$$

【0050】のように算出される。ここで、式中の $X$ は、

10※【0051】

※【数5】

$$X = \left[ \begin{array}{cc} r_{11} - z_1 + t_1 & r_{01} - z_0 + t_1 \\ \int_{r_{10} - z_1 + t_0} f(u) du - \int_{r_{00} - z_0 + t_0} f(u) du \end{array} \right]$$

【0052】で定義され、 $Y$ は、

★【数6】

【0053】

★

$$Y = \left[ \begin{array}{cc} r_{11} + z_1 - t_1 & r_{01} + z_0 - t_1 \\ \int_{r_{10} + z_1 - t_0} f(u) du - \int_{r_{00} + z_0 - t_0} f(u) du \end{array} \right]$$

【0054】で定義され、また、

☆【数7】

【0055】

☆

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha_1} f(u) du = \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \frac{\exp(-jku)}{u} du$$

$$r_{mn} = h^2 + (z_m - t_n)^2$$

$$(m, n = 0, 1)$$

【0056】という定義がある。同様にして、図6に示すモノポール間の相互インピーダンス $Z_{01}$ は、

◆【0057】

◆【数8】

$$Z_{01} = \frac{\omega \mu}{8\pi k \sin kd_1 \sin kd_2} \left[ \exp \{-jk(z_1 - t_0)\} \cdot X + \exp \{jk(z_1 - t_0)\} \cdot Y \right]$$

【0058】のように算出され、図6に示すモノポール間の相互インピーダンス $Z_{10}$ は、

\*【0059】

\*【数9】

$$Z_{10} = \frac{\omega \mu}{8\pi k \sin kd_1 \sin kd_2} \left[ \exp \{-jk(z_0 - t_1)\} \cdot X + \exp \{jk(z_0 - t_1)\} \cdot Y \right]$$

【0060】のように算出され、図6に示すモノポール間の相互インピーダンス $Z_{11}$ は、

【0061】

50 【数10】



$$Z_{11} = \frac{\omega \mu}{8\pi k \sin kd_1 \sin kd_2} \left[ \exp \{-jk(z_0 - t_0)\} \cdot X + \exp \{jk(z - t_0)\} \cdot Y \right]$$

【0062】のように算出される。このようにして、モノポール間の相互インピーダンス $Z_{00}$ 、 $Z_{01}$ 、 $Z_{10}$ 、 $Z_{11}$ が算出されると、これらの和を算出することで、図6に示すような2つの金属ワイヤダイポール間の相互インピーダンス $Z_{mn}$ が算出されることになる。

【0063】図10に、この相互インピーダンス $Z_{mn}$ の数値計算例を図示する。ここで、この数値計算は、2つの金属ワイヤダイポールの長さを同一のものとして、ダイポールの長さ、ダイポール間の距離とを電気長で表現して行った。

【0064】図中の左側部分が、高速演算処理を可能にする倍精度実数の算出手法を用いた場合の算出値であり、右側部分が、高精度演算処理を可能にする固定小数点数（多倍長整数）の算出手法を用いた場合の算出値である。

【0065】この2つの算出値を比較すれば分かるように、図中の破線で囲った倍精度実数の算出値の精度が落ちることが分かる。これは、この領域が桁落ちの発生する領域だからである。これから、判断テーブル21は、この破線で囲った領域を領域Bとして管理し、それ以外の領域を領域Aとして管理することで、相互インピーダンスが高速かつ高精度に算出される構成を実現するのである。

【0066】以上に説明した実施例では、金属のみを解析対象とするモーメント法に適用した実施例に従って本発明を開示したが、本発明は、金属と誘電体とを解析対象とするモーメント法にもそのまま適用できるものである。

【0067】すなわち、金属と誘電体とを解析対象とするモーメント法では、分割した金属同士の相互インピーダンス $Z^{\circ}_{cc}$ と、分割した金属と誘電体との相互インピーダンス $Z^{\circ}_{ca}$ 、 $Z^{\circ}_{ac}$ と、分割した誘電体同士の相互インピーダンス $Z^{\circ}_{aa}$ 、 $Z^{\circ}_{ad}$ と、分割した誘電体同士の相互アドミッタンス $Y^{\circ}_{aa}$ 、 $Y^{\circ}_{ad}$ と、分割した金属と誘電体との相互リアクション $B^{\circ}_{ca}$ 、 $B^{\circ}_{ac}$ と、分割した誘電体同士の相互リアクション $B^{\circ}_{aa}$ 、 $B^{\circ}_{ad}$ とを算出する。

【0068】ここで、肩付き文字“0”は空気中での計算値を表し、肩付き文字“d”は誘電体中での計算値を表し、添え字“c”は金属を表し、添え字“d”は誘電体を表し、添え字“cc”は、金属から金属への相互関係を表し、添え字“dd”は、誘電体から誘電体への相互関係を表し、添え字“cd”は、誘電体から金属への相互関係を表し、添え字“dc”は、金属から誘電体へ

の相互関係を表している。

【0069】そして、相互インピーダンス、相互アドミッタンス、相互リアクションを算出すると、波源をVで表すならば、この波源Vと、分割した金属に流れる電流 $I_c$ と、分割した誘電体の表面に流れる等価電流 $I_a$ と、分割した誘電体の表面に流れる等価磁流Mとを使い、金属の表面電界値がゼロを示すという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$[Z^{\circ}_{cc}] [I_c] + [Z^{\circ}_{ca}] [I_a] + [B^{\circ}_{ca}] [M] = [V]$$

と、誘電体の境界面の両側で電界の接線成分が等しいという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$[Z^{\circ}_{ac}] [I_c] + [Z^{\circ}_{aa} + Z^{\circ}_{ad}] [I_a] + [B^{\circ}_{aa} + B^{\circ}_{ad}] [M] = [0]$$

と、誘電体の境界面の両側で磁界の接線成分が等しいという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$[B^{\circ}_{ac}] [I_c] + [B^{\circ}_{aa} + B^{\circ}_{ad}] [I_a] + [-Y^{\circ}_{aa} - Y^{\circ}_{ad}] [M] = [0]$$

とを導出する。

【0070】そして、このモーメント法の連立方程式を解くことで、金属に流れる電流 $I_c$ と、分割した誘電体の表面に流れる等価電流 $I_a$ と、分割した誘電体の表面に流れる等価磁流Mとを求めて、これらの値から、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出していくことになる。

【0071】このように、金属と誘電体とを解析対象とするモーメント法では、相互インピーダンス、相互アドミッタンス、相互リアクションを算出していく構成を採るので、この相互係数の算出にあたって本発明を用いれば、電気回路装置の放射する電磁界強度を高速かつ高精度に算出できるようになる。

【0072】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するときにあって、モーメント法の連立方程式を構成する相互係数の算出にあたって、通常は高速の算出手法を用いつつ、桁落ちが発生する可能性があるときには桁落ちしない高精度の算出手法を用いることで、相互係数の正確な値を算出していく構成を採るものであることから、電気回路装置の放射する電磁界強度を高速かつ高精度に算出できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理構成図である。

【図2】本発明の実行する処理フローの一実施例であ

る。

【図3】本発明の実行する処理フローの一実施例である。

【図4】判断テーブルの管理する判断データの一実施例である。

【図5】ワイヤダイポールの説明図である。

【図6】2つのダイポール間の相互インピーダンスの説明図である。

【図7】波源と観測点との関係図である。

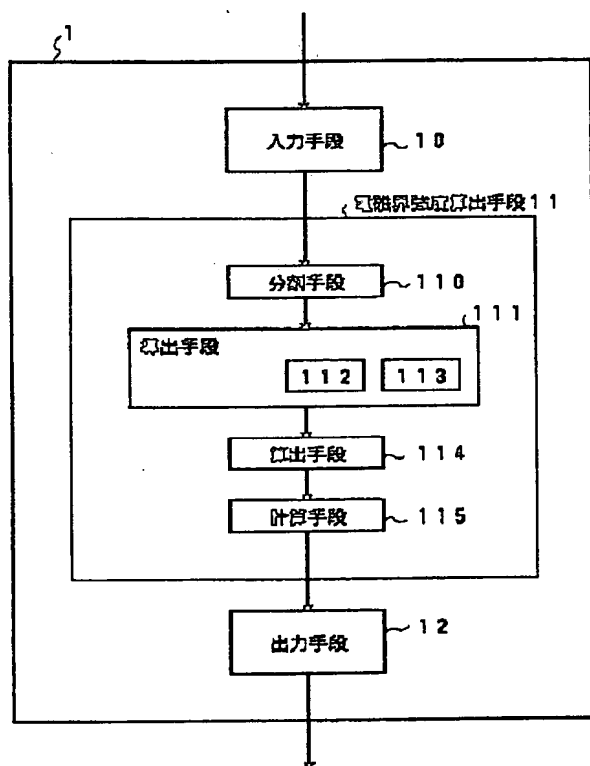
【図8】電界の算出式の説明図である。

【図9】2つのモノポール間の相互インピーダンスの説明図である。

【図10】相互インピーダンスの数値計算例である。

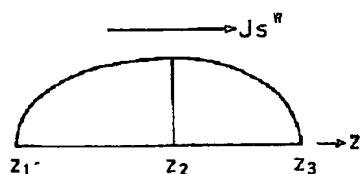
【図1】

本発明の原理構成図



【図5】

ワイヤダイポールの説明図



【図11】微小ループアンテナ近似法の説明図である。

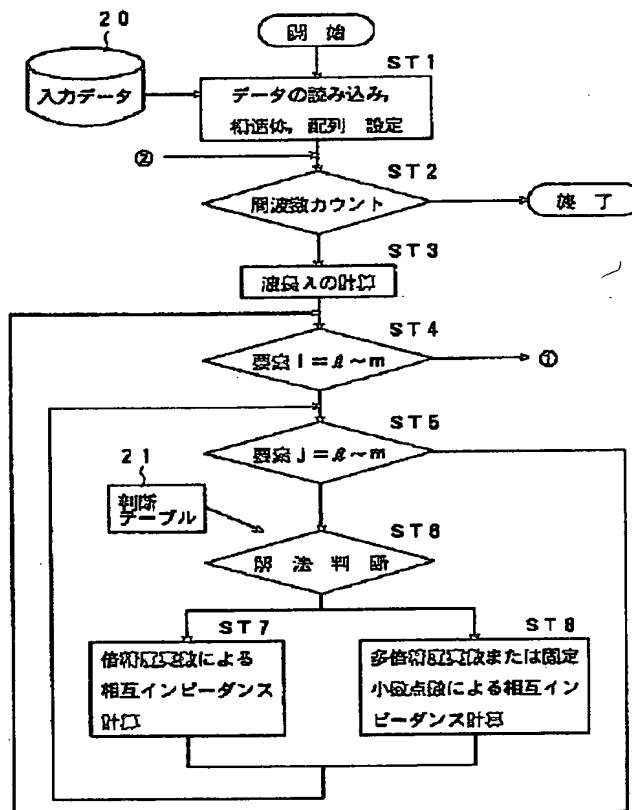
【図12】分布定数線路近似法の説明図である。

【符号の説明】

- |     |           |
|-----|-----------|
| 1   | 電磁界強度算出装置 |
| 10  | 入力手段      |
| 11  | 電磁界強度算出手段 |
| 12  | 出力手段      |
| 110 | 分割手段      |
| 111 | 導出手段      |
| 10  | 112 評価手段  |
|     | 113 決定手段  |
|     | 114 算出手段  |
|     | 115 計算手段  |

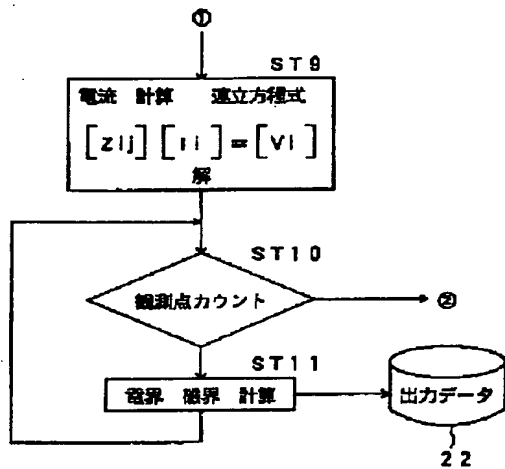
【図2】

本発明の実行する処理フローの一実施例



【図3】

本発明の実行する処理フローの一実施例



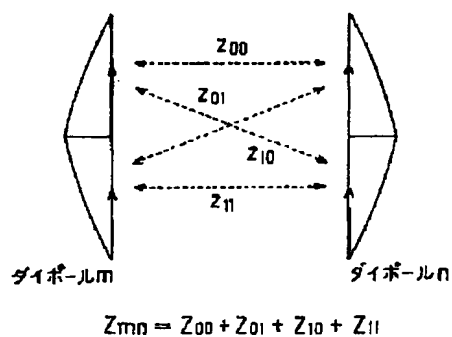
【図4】

判断テーブルの管理する判断データの一実施例

| 観測点の電界強度 (λ) | 0.000001 以下 | 0.000001 ~ 0.00001 | 0.00001 ~ 0.0001 | 0.0001 ~ 0.001 | 0.001 ~ 0.01 | 0.01 ~ 0.1 | 0.1 ~ 0.2 | 0.2 ~ 0.5 | 0.5 ~ 1 | 1 以上 |
|--------------|-------------|--------------------|------------------|----------------|--------------|------------|-----------|-----------|---------|------|
|              | 領域B         | 領域A                | 領域A              | 領域A            | 領域A          | 領域A        | 領域A       | 領域A       | 領域A     | 領域A  |

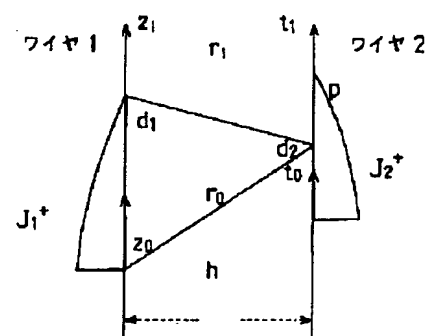
【図6】

2つのダイポール間の相互インピーダンスの説明図



【図9】

2つのモノポール間の相互インピーダンスの説明図



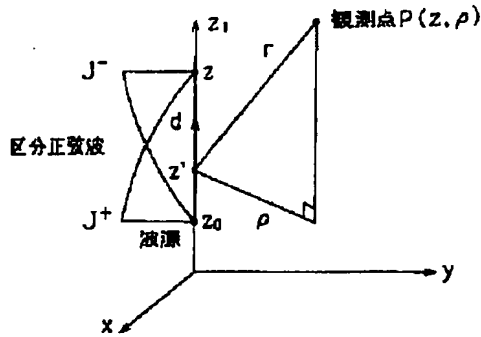
電流分布

$$\text{ワイヤ1} \quad J_1^+ = \frac{\sin k(d_1 - z + z_0)}{\sin kd_1}$$

$$\text{ワイヤ2} \quad J_2^+ = \frac{\sin k(d_2 - t + t_0)}{\sin kd_2}$$

【図7】

波源と観測点との関係図



モノポール位置端  $z_0, z_1$   
電流の方向  $z_0 \rightarrow z_1$

波源位置  $z'$   
モノポール長  $d (= z_1 - z_0)$

波源～観測点距離  $r = \sqrt{\rho^2 + (z - z')^2}$

$r_0 = \sqrt{\rho^2 + (z - z_0)^2}$

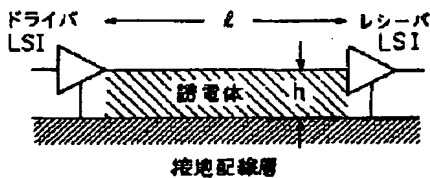
$r_1 = \sqrt{\rho^2 + (z - z_1)^2}$

電流分布  $J^+ = \frac{\sin k(d - z' + z_0)}{\sin kd}$

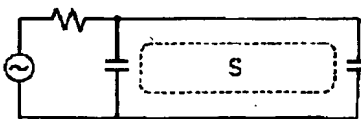
$J^- = \frac{\sin k(d + z' - z_1)}{\sin kd}$

【図11】

微小ループアンテナ近似法の説明図



電流



電波放射量  $\propto$  周波数<sup>2</sup> × 電流 × ループ面積  
(一様)

【図8】

電界の算出式の説明図

$$E_z^+(z, \rho) = -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \sin kd} \left[ \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} - \cos kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} \right] - j(z - z_0) \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^3} - \frac{z - z_0}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^3}$$

$$E_\rho^+(z, \rho) = -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \rho \sin kd} \left[ -\frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + (z - z_0) \cos kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} \right] + j(z - z_0)^2 \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^3} - \frac{\rho^2}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^3}$$

【図10】

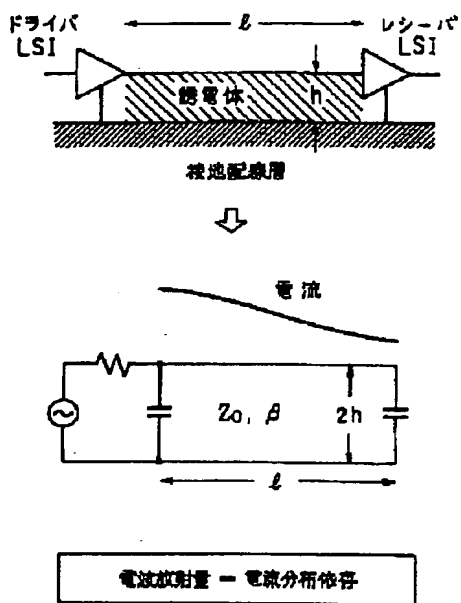
相互インピーダンスの数値計算例

| 距離(λ)   | 倍精度実数による計算  |          | 固定小数点数による計算 |           |
|---------|-------------|----------|-------------|-----------|
|         | モノポールの長さ(λ) |          | モノポールの長さ(λ) |           |
| 0       | 0.001       | 0.0081   | 0.00001     | 0.00001   |
| 0.00001 | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |
| 0.0001  | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |
| 0.001   | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |
| 0.01    | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |
| 0.1     | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |
| 0.2     | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |
| 0.5     | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |
| 1       | 7.909E-4    | 7.909E-6 | 7.909E-8    | 7.909E-10 |

誤差

【図12】

## 分布定数線路近似法の説明図



フロントページの続き

(72)発明者 西野 関司  
 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
 富士通株式会社内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**